



Artículo: COMEII-16061

II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016

Chapingo, Edo. de México, del 08 al 10 de septiembre

DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL PARA MATERIALES NO LINEALES EN MEDIOS CONFINADOS

Abraham Rojano^{1*}; Abraham Arzeta¹; Teodoro Espinosa¹; Jorge Flores²

¹Universidad Autónoma Chapingo, km 38.5 Carretera México-Texcoco, C.P. 56230.
abrojano@hotmail.com. (*Autor para correspondencia).

²Coordinación de Riego y Drenaje. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo
Cuauhnáhuac Núm. 8532, Col. Progreso, Jiutepec, Morelos. C.P. 62550

Resumen

CFD es una técnica numérica de amplia difusión actual para simular escenarios complejos. El uso del recurso computacional en una creciente capacidad de memoria, almacenamiento y velocidades de acceso. Aunque los principios fundamentales de la física se han mantenido los mismos, y su naturaleza complicada de resolverlos ha permitido buscar los recursos complementarios con la propuesta de una gran cantidad de algoritmos numéricos existentes desde los esquemas de diferencia finita, elementos finitos, volúmenes finitos o su combinación. En este trabajo se presenta la metodología para abordar un problema no lineal y se ejemplifica con un caso específico de un fluido moviéndose con una ecuación constitutiva no lineal definida.

Palabras clave adicionales: Dinámica de fluidos computacional (CFD), método de elemento finito.



Introducción

Debido a la complejidad de las ecuaciones formuladas para comportamientos complejos, no se dispone de una solución general para este conjunto de ecuaciones, y salvo ciertos tipos de flujo y situaciones muy concretas es posible hallar una solución analítica; por lo que en muchas ocasiones se ha de recurrir al análisis y métodos numéricos para encontrar soluciones. A la rama de la mecánica de fluidos que se ocupa de la obtención de estas soluciones mediante una computadora se le denomina dinámica de fluidos computacional o *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

El planteamiento de las ecuaciones generales se deducen típicamente de los principios de la física como son el balance de masa, momentum y energía sobre un volumen de control, y aplicada a cualquier problema su presentación general es dada como (Anderson, 1995).

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{u} \phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S_{\phi} \quad (1)$$

En la cual ρ es la densidad (kg m^{-3}), t es el tiempo (s) ∇ es el operador divergencia, \bar{u} el vector de velocidad y S el termino fuente. La variable ϕ es una forma de variable dependiente, pudiendo ser masa, velocidad, factor químico o temperatura, y ϕ describe las características del flujo en una localización puntual en un tiempo específico, siendo en un espacio tridimensional escrita como $\phi = \phi(x, y, z, t)$.

Para describir la dinámica del flujo, CFD utiliza las ecuaciones de Navier-Stokes, expresadas como un conjunto de ecuaciones en derivadas parciales no lineales que describen el movimiento de un fluido, estas ecuaciones se obtienen aplicando los principios de conservación de la mecánica a un volumen fluido. Haciendo esto se obtiene la llamada *formulación integral* de las ecuaciones. Para llegar a su formulación diferencial se tratan aplicando teoremas matemáticos, llegando así a la llamada *formulación diferencial*, que generalmente es más útil para la resolución de los problemas que se plantean en la mecánica de fluidos. Dichas formulaciones equivalentes son las bases para llevar a cabo las simulaciones numéricas.

Materiales y métodos

Las ecuaciones de Navier-Stokes pueden describirse en términos integrales sin embargo, es la deducción diferencial la que permite por medio de ecuaciones en derivadas parciales no lineales una aplicación práctica, que para efectos de este trabajo adoptan la siguiente forma:



Ecuación de continuidad

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

Ecuación de momento

$$\rho \frac{\partial}{\partial x_j} (u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \rho g_i \quad (3)$$

Donde u_i es el componente de la velocidad en la dirección- i (m s^{-1}), x_i indica el flujo en la dirección- i , ρ es la densidad del fluido (kg m^{-3}), P es la presión (Pa), g_i es cualquier campo de aceleración, en este caso la aceleración de la gravedad en la dirección i (m s^{-2}).

El proceso de solución del problema involucra básicamente tres etapas que corresponden a igual número de programas para su ejecución y control

1. *Construcción de la geometría.* Con base al dominio por simular se construye su geometría donde se incluyen los componentes tales como, condiciones de frontera y sistemas de control. Para el desarrollo de esta actividad existen diversos programas que permiten su creación, concretamente en este proyecto se hace en Design Model.
2. *Mallado de la geometría.* Una vez definida la geometría, el modelo debe subdividirse en un número finito de elementos bidimensionales a los cuales se aplican las ecuaciones de balance y transferencia para modelar los flujos; un aspecto importante a tomar en cuenta aquí es la dimensión de los elementos en gran parte dependerá del modelo de turbulencia a usar y el número de Reynolds, y se hace con Meshing Model.
3. *Simulación y presentación de resultados.* En esta etapa se definen los modelos a simular, tales como especies, transferencia de energía, turbulencia, etc. y se inicializa el caso a unas condiciones de frontera específica; se fijan los valores mínimos y cuando los residuales alcanzan este valor, se dice que se ha llegado a una solución y en consecuencia se está en condiciones de pasar al pos proceso donde se obtienen valores escalares, vectoriales y gráficos de la distribución espacial del flujo con Fluent para el procesamiento.

Resultados

Con el fin de hacer comparaciones cualitativas y cuantitativas de los patrones de flujo en fluidos newtonianos y no newtonianos, tres simulaciones se llevaron a cabo utilizando un dominio de fondo plano a escala de laboratorio, con una ecuación constitutiva de la viscosidad como se muestra en Figura 1.

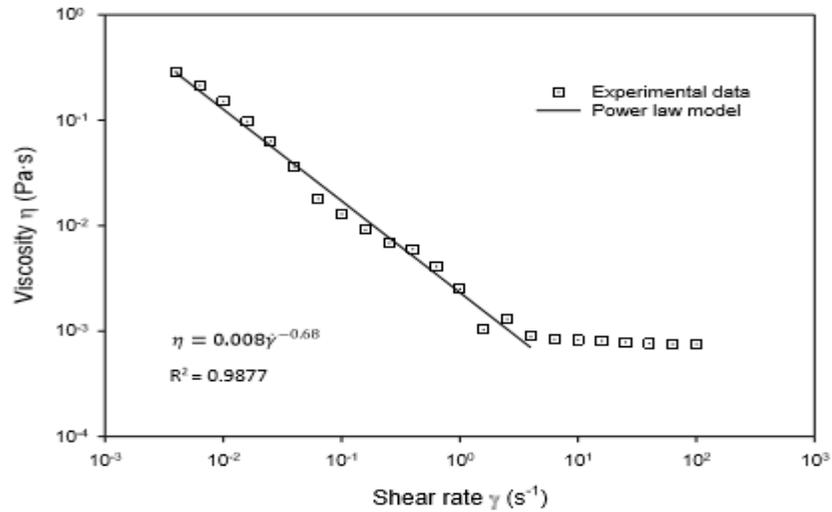


Figura 1. Comportamiento del fluido utilizado.

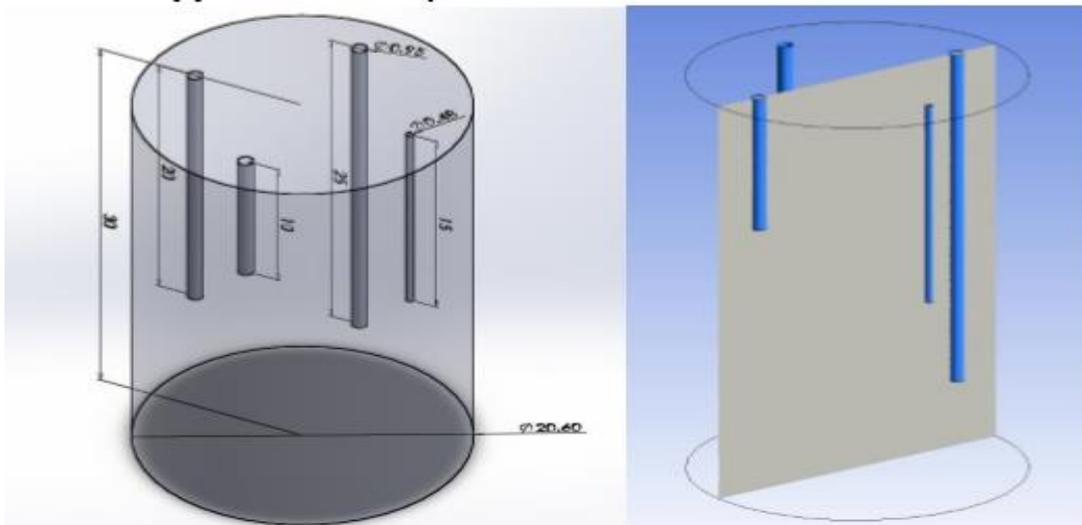


Figura 2. Diagrama esquemático de la geometría. Izquierda, cilindro de 3D; Derecha, selección de la sección observada.

El diagrama de la escala de laboratorio de fondo plano y el plano utilizado para comparar simulaciones se muestran en la Figura 2. Tubos para entrada (25 cm), salida (10 cm) y el efluente (20 cm) tienen 0.95 cm de diámetro y el termopar (15 cm) tiene un diámetro de 0.48 cm. El plano cruza las tuberías de entrada y salida. La entrada de velocidad de entrada para los dos fluidos se fijó en $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ para la primera simulación.

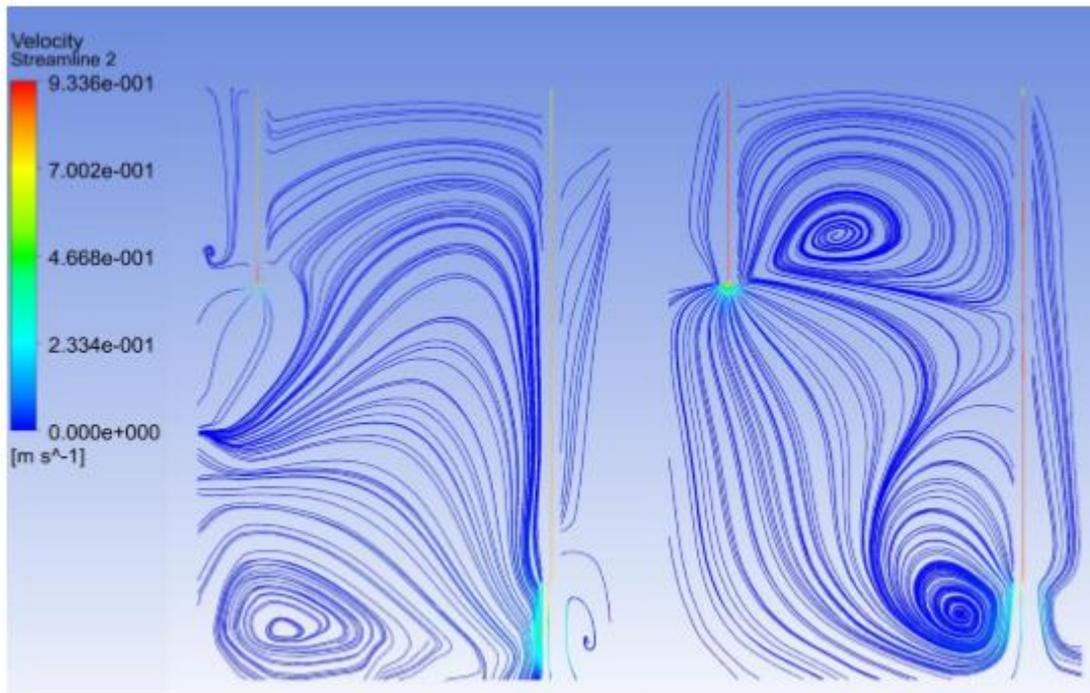


Figura 3. Comparación de dos escenarios: izquierdo, modelo lineal; derecha, no lineal.

Finalmente, para determinar las zonas muertas de mezcla, se utilizó la viscosidad eficaz en el dominio utilizado en la Figura 3. De hecho, debido a que la viscosidad es una función de la velocidad de cizallamiento. Los espacios muertos se determinaron de acuerdo con la viscosidad en cada celda. La reducción de zonas muertas se logra mediante el aumento de velocidad de entrada hasta 1.5 m/s

Conclusiones

El movimiento del fluido está probado con un problema basado en una ecuación constitutiva no lineal, y el CFD es una alternativa para resolver y visualizar el rendimiento hidrodinámico del tanque agitador como digestor anaeróbico a escala de laboratorio. Dos velocidades de entrada se ensayaron para evaluar las actuaciones del depósito de digestión en términos de la mezcla: 0.5 y $1.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Las propiedades reológicas del fluido de trabajo se ajustan a un modelo de ley de potencia con los límites superior e inferior definidos.



El patrón de flujo simulado consistió en la reducción de velocidad a través del digestor para fluido no newtoniano. La metodología numérica presentada en este trabajo es un primer paso para proponer alternativas con el fin de reducir el volumen de espacio muerto. Así que el trabajo puede ser visto como una contribución a la mejora del rendimiento hidrodinámico de un tanque agitado por la acción de la descarga de entrada, donde se muestra la presencia de dos vórtices, cuya magnitud es mayor para el caso no lineal.

Referencias bibliográficas

- Anderson, J.D. (1995). *Computational Fluid Dynamics*. ISBN: 978-3-540-85055-7, McGraw-6 Hill, US.
- Arzeta-Ríos A., Espinosa-Solares T., Rojano-Aguilar A., Flores-Velázquez J., Bournet P. 2016. CIGR-AgEng, Aarhus, Denmark.
- Boulard, T. y Wang, S. 2002. Radiative and convective heterogeneity in a plastic tunnel: consequences on crop transpiration. *Plasticulture*, 121: 23-35.
- Hendricks, D., 2006. *Water Treatment Unit Processes: Physical and Chemical*. CRC Publishers, 1266 pp.
- Meroney, R. N. and Colorado, P.E. 2009. CFD simulation of mechanical draft tube mixing in anaerobic digester tanks. *Water research* 43: 1040–1050.
- Terashima, M., Goel, R., Komatsu, K., Yasui, H., Takahashi, H., Li, Y.Y. and Noike, T. 2009. CFD simulation of mixing in anaerobic digesters. *Bioresource Technology* 100 (2009) 2228–2233